Meio Físico 1

Biotupé: Meio Físico,
Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central volume 2
Edinaldo Nelson SANTOS-SILVA, Veridiana Vizoni SCUDELLER (Orgs.),
Editora UEA Ltda, Manaus, 2009

Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas

Thiago Morato de CARVALHO
Geomorfólogo, MSc, Programa de Clima em Ambiente, LBA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Av. André Araújo, 2935 – CEP 69001-000, Manaus –AM. Email: tmorato@infonet.com.br/thiago.morato@inpa.gov.br

RESUMO - A geomorfometria é uma ciência baseada em métodos estatísticos para descrição quantitativa das formas do relevo, as quais podem ser obtidas através de Modelos Digitais de Elevação (MDEs). As técnicas utilizadas na geomorfometria consistem de operações em determinados programas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, com objetivo de gerar produtos cartográficos que representam a realidade do terreno e sua dinâmica. Dentro deste enfoque, este estudo tem como finalidade caracterizar em uma primeira aproximação (i.e. gerar produtos básicos) para a descrição do relevo da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé. Foram utilizados os produtos da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e os programas Envi, Arcgis, MicroDem e Saga para obter produtos representativos da morfologia do terreno. Alguns dos produtos foram hipsometria, declividade, índice de umidade topográfica, potencial a erodibilidade e ecótonos. Os resultados foram satisfatórios , os quais são bases essenciais para descrever o relevo e promover uma posterior discussão sobre a dinâmica geomorfológica da região, além de auxiliarem em estudos ecológicos, como distribuição de espécies animais e vegetais.

PALAVRAS-CHAVE: Geomorfometria, Modelos Digitais de Elevação, SRTM, RDS Tupé, Biogeomorfologia, Amazônia.

Introdução

A geomorfologia quantitativa consiste na aplicação de métodos matemáticos e estatísticos ao estudo da forma do relevo terrestre e dos processos que a modela. O emprego do método quantitativo na análise da paisagem consiste em atribuir uma dimensão e expressá-lo na forma paramétrica, como é o caso da Geomorfometria (Hengl & Evans, 2009; Pike *et al*., 2009).

A Geomorfometria tem suas raízes na descrição do relevo, como a Orografia, termo utilizado por geógrafos para descrever áreas montanhosas (oros = montanha; grafia = desenho), assim como a Topografia (topo = local; grafia = desenho), porém, este último refere-se à descrição do relevo local de forma mais ampla, além das formas do relevo (montanhas, morros, colinas, vales), inclui altitudes, corpos d´água, cobertura vegetal, infraestrutura (i.e. construções antrópicas)., etc.

Desde o Egito antigo, a descrição do relevo tem se aperfeiçoado, principalmente na Alemanha e posteriormente nos Estados Unidos durante o período da guerra fria (Pike *et al*., 2009). O conceito de curva de nível data de 1584, Pieter Bruinz desenhou linhas de mesma profundidade no rio Spaarne, não publicado (Imhof, 1982). Outros estudos, publicados, com o mesmo objetivo foram realizados por Marsigli em 1725 no Golfo Du Lion (Mar Mediterrâneo) e por Buache mapeando o Canal da Mancha em 1737 (Robinson, 1982).

Com base na revisão de Pike *et al*., (2009) diversos outros estudos foram conduzidos por naturalistas e engenheiros, desde von Humboldt (medições de elevação do relevo, 1769-1859); Carl Ritter (índice de desenvolvimento de costa, 1779-1859); Alfred Cayley (lançando as bases matemáticas para a geomorfometria em 1859); James Clerk Maxwell (descrevendo as vertentes e divisores de água com as bases geomorfométricas de Cayley, 1870); Murray (estimando altitudes para o globo terrestre, plotando elevação versus área, 1888); Partsh (delineando e gerando um mapa quantitativo do relevo local, salientando divisores de água, vales e bacias hidrográficas, 1911); de Martonne (relacionando curvas hipsométricas para estudos comparativos entre regiões, gerando histogramas, 1941); Strahler (popularizou o uso de histogramas para estudos estatísticos do relevo).

Nos estudos em morfometria fluvial, Horton (1932, 1945) desenvolveu métodos morfométricos para descrever bacias hidrográficas, criando um novo ramo da geomorfometria, destinada a estudos quantitativos da rede de drenagem. Strahler (1952) iniciou estudos estatísticos para descrever o relevo e vertentes (gradiente do relevo) relacionando estes com a ordem dos canais; Chorley (1957, 1966) aprimorou técnicas estatísticas para descrever bacias hidrográficas e encostas.

A partir da década de 1960, a geomorfometria passaria por uma revolução com a criação do Modelo Digital do Terreno (Digital Terrain Model, DTM), conceito desenvolvido por Miller & Laflame (1958) no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Desde então, a descrição do relevo tem-se aperfeiçoado com novos programas capazes de analisar, em diferentes escalas (espaço e tempo), os aspectos fisiográficos do relevo, e simular processos morfológicos. Novas classificações do relevo foram descritas, Pike (1988) introduziu o conceito de assinatura geométrica dos tipos de paisagem; Lewis (1968) e Mather (1972) usando análises estatísticas de componentes principais, e cluster análise na descrição do relevo (Pike *et al*., 2009).

Dentro deste arcabouço de técnicas, análises e descrição, que a geomorfometria tem sido a base para ciências como geomorfologia, geografia física, geologia, engenharias, biologia, dentre outras, que tem como objetivo a descrição do relevo e suas relações com outras variáveis ambientais e antrópicas.

Neste estudo a geomorfometria é a principal componente, servindo para caracterização do relevo, em primeira aproximação, da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. Para uma discussão posterior, será dado um enfoque aos processos geomorfológicos e interação com a biologia (i.e. Biogeomorfologia), relacionando a ocorrência entre determinadas

espécies animais e/ou vegetais, com os processos morfogenéticos do relevo, atuantes no presente e passado, os quais são determinantes (ou não) na distribuição da fauna e flora (Viles, 1988).

Modelos Digitais de Elevação (MDEs)

Os modelos digitais de elevação (MDEs), conhecidos em inglês por DEM (Digital Elevation Model), podem ser obtidos através de levantamento topográfico do terreno, sensoriamento remoto (aerofotos, imagens de satélites e radar), por cartas topográficas, ou através de qualquer outro instrumento que seja capaz de medir a superfície de uma determinada área, indicando sua elevação (referenciada ao nível de base local ou global – nível do mar).

No entanto, pode existir confusão quanto à terminologia MDE e MDT (Modelo Digital do Terreno). Basicamente o MDT refere-se ao modelo referenciado à altimetria do terreno (ao nível do solo), enquanto o MDE, no sentido geral da palavra, é a representação (topografia) de qualquer superfície que não esteja necessariamente referenciada ao nível verdadeiro do terreno (solo). Por exemplo, MDE dos edifícios da cidade de São Paulo, MDE da cobertura de vegetação da Amazônia, nestes casos o modelo está representando a altitude em relação ao dossel da mata (ou cobertura dos edifícios) e não referente à altitude do terreno em si (ao nível do solo). Caso a referência de altitude seja ao nível do solo, então a terminologia correta será "MDT", porém, não é errado utilizar "MDE do Terreno" para representar áreas em que o modelo é referente à altimetria do solo.

Os modelos digitais do terreno possuem diversas aplicações em geomorfologia, como a elaboração de mapas de concavidade e convexidade; análises de rede hidrográfica (delimitação automática de bacias e microbacias e áreas inundadas); sistemas lacustres; animações, podendo analisar em diferentes ângulos a área em estudo, perfis topográficos e longitudinais (rios), além de estudos em biogeomorfologia (Felgueiras, 1997; Carvalho & Latrubesse 2004; Alves & Carvalho, 2007; Carvalho & Bayer 2008; Valeriano & Rossetti, 2008; Hesse, 2008; Nguyen *et al*., 2008; Taramelli *et al*., 2008; Rowberry, 2008; Carvalho & Ramirez, 2008).

Dikau (1989) atribui formas características básicas ao relevo que permitem o reconhecimento de variáveis topográficas. Os elementos morfométricos do relevo que têm sido tradicionalmente classificados são: picos, convexidade em todas as direções; cume, convexidade em uma direção ortogonal a uma linha de curvatura; vale, convexidade em uma direção ortogonal a uma concavidade; encosta, sem curvatura e com declividade não nula; planície, sem curvatura e com declividade nula; canal, concavidade e uma direção ortogonal a uma linha sem curvatura; posso, concavidade em todas as direções.

Algumas fontes para gerar MDEs são provenientes de levantamento de campo com teodolito (cartas topográficas), fotografias aéreas (estereopar), as quais necessitam de um controle manual para geração dos MDEs. Outras fontes como Radar e o Lidar são fontes ativas de sensores abordo de satélites (orbitais) ou aviões (sub-orbitais); outras fontes de sensores passivos (orbitais) que geram MDEs correlacionando imagens por estereopar.

Recentemente os MDEs do Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer (ASTER) foram disponibilizados para o público (www.gdem.aster.ersdac.or.jp). Diferentemente dos MDEs da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), que será descrito mais adiante, o ASTER adquire imagens pelo sensor Visible Near Infra-Red (VNIR), com uma resolução de 30 metros. Porém este produto possui alguns inconvenientes, como artefatos produzidos por erros no imageamento na interação do sinal na atmosfera, nuvens por exemplo (Fig. 1).

Materiais e Métodos

Interpretação da Morfologia

Um sistema geomorfológico tem uma estrutura interna definível caracterizada por suas variáveis
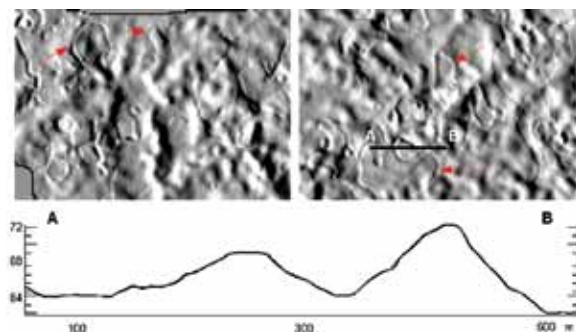
Figura 1: Artefatos no MDE ASTER, região da RDS do Tupé.

de estado, tais como litologia, declive regional, estruturas, entre outras. Estas variáveis de estado se relacionam e se modificam por processos climáticos e geomorfológicos considerados como variáveis de transformação. Estas variáveis de transformação são numerosas, tais como erosão, transporte, sedimentação, intemperismo - pedogênese, oscilação de nível freático, entre outras (Latrubesse & Carvalho, 2006).

As variáveis de transformação (processos) se mobilizam por aportes externos de energia e matéria (calor solar, ventos, chuvas, etc). A estrutura do Sistema e seus processos determinam um comportamento típico para cada tipo de sistema. O comportamento típico de boa parte de sistemas inundáveis, por exemplo, se deve a ocorrência de prolongadas inundações em função da interação de suas variáveis de estado e de transformação, como relevos rebaixados, solos encharcados, sistemas de paleocanais com uma rede de drenagem pouco integrada e em parte herdada geomorfologicamente (Summerfield, 1991; Rice, 1993; Latrubesse & Carvalho, 2006).

De acordo com estudos realizados para interpretação radargeológica de dados SAR, Paradella *et al.*, (1998) definiram pelo menos três fases principais: identificação dos elementos de imagem; análise dos elementos na imagem; e interpretação dos elementos na imagem.

Para analisar feições topográficas/ geomorfológicas manipularam-se diversas rotinas no ENVI 4.0: i) sombreamento do relevo (shaded-relief); ii) fatiamento altimétrico (density slice); iii) perfis topográficos; divisores de água; índice de curvatura; Outros parâmetros geomorfométricos foram extraídos nos programas MicroDem e Saga, como aspecto (direção das vertentes); diagramas de rosa (Aspect Queens Ratio); relações entre drenagem versus relevo (ordem de Strahler); índice de umidade topográfica; Alguns cruzamentos para gerar produtos como potencial de erodibilidade e ecótonos foram realizados no Arcgis 9.3.

Os Produtos SRTM

O instrumento que gerou os produtos da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) consiste de uma plataforma espacial de imageamento por radar de abertura sintética – SAR e SIR (Space Imaging Radar) nas bandas X e C respectivamente, formando um sistema único imageador, porém, operando independentemente, instalados num mastro de 60 metros de comprimento, acoplado ao ônibus espacial. Esta metodologia proporcionou produtos interferométricos – InSAR (Interferometric Space Imaging Radar) , com visada lateral de 30° a 58° off-nadir, proporcionando a geração de modelos digitais de elevação por interferometria. O sinal de retorno é da superfície dos alvos, onde em áreas com vegetação, por exemplo, os dados serão do dossel das árvores e não do terreno (Fig.2).

Estes modelos de elevação possuem pixels de 1 arco-segundo, aproximadamente 30m (Estados Unidos) e 3 arco-segundo, aproximadamente 90m (global). São distribuídos pela United Sates Geological Survey Eros Data Center – USGS EDC. As imagens são disponibilizadas gratuitamente nos formatos HGT (Height), TIFF (Tag Image File Format), ARCGRID (Arc/Info), BILL (Band Interleaved by Line) e GRIDFLOAT (Floating Point Data).

O erro absoluto vertical é de 16 metros (regiões com forte controle estrutural, i.e., cadeias de montanhas), para o Brasil o erro fica abaixo dos 5 metros (Fig.3). Alguns problemas referentes a estes produtos podem ser vistos através de

valores nulos ou lacunas (Null-data holes), ou seja, sem informação (pixel nulo). Isto ocorre devido a algumas áreas imageadas apresentarem condições geográficas não favoráveis à aquisição de dados, como áreas de grande inclinação, como exemplo em alguns trechos do Himalaia ou corpos d´água (Farr & Kobrick, 2000).

No Brasil, a Embrapa tem realizado um importante trabalho em mosaicar, para todo o país, as imagens SRTM, disponível em (www.relevobr.cnpm.embrapa.br). Outra fonte de fácil acesso em obter as imagens, é através de arquivo ".kml" (extensão do Google Earth), disponível na página do Consultative Group on International Agricultural Researc (CGIAR), disponível em (srtm.csi.cgiar.org).

Uma forma de melhorar a interpretação visual dos modelos SRTM, para identificação dos aspectos morfológicos do terreno, principalmente para mapeamento geomorfológico, é a interpolação da imagem de 90 metros para 30 metros. Este procedimento não irá gerar novos valores de altitude como mostram as figuras 4 e 5, mas irá melhorar na identificação das formas do relevo (Fig.6). Após a interpolação foi aplicado um filtro de passa baixa, melhorando a nitidez da imagem.

Resultados e Discussão

A RDS do Tupé apresenta classes de relevo típicas na Amazônia, e são identificadas facilmente com o uso de MDTs, como platôs, que são formas residuais de antigas superfícies de aplainamento, apresentando feições planas ou semi-planas (baixa declividade) cobertas por vegetação de terra firme. Um patamar mais baixo (baixios), adjacente aos platôs, com encostas com maior declive e maior índice de umidade, sendo uma área de transição de material detrítico coluvionar, esta região caracteriza-se como área ondulada, uma superfície mais nova que os platôs adjacentes (Fig.7).
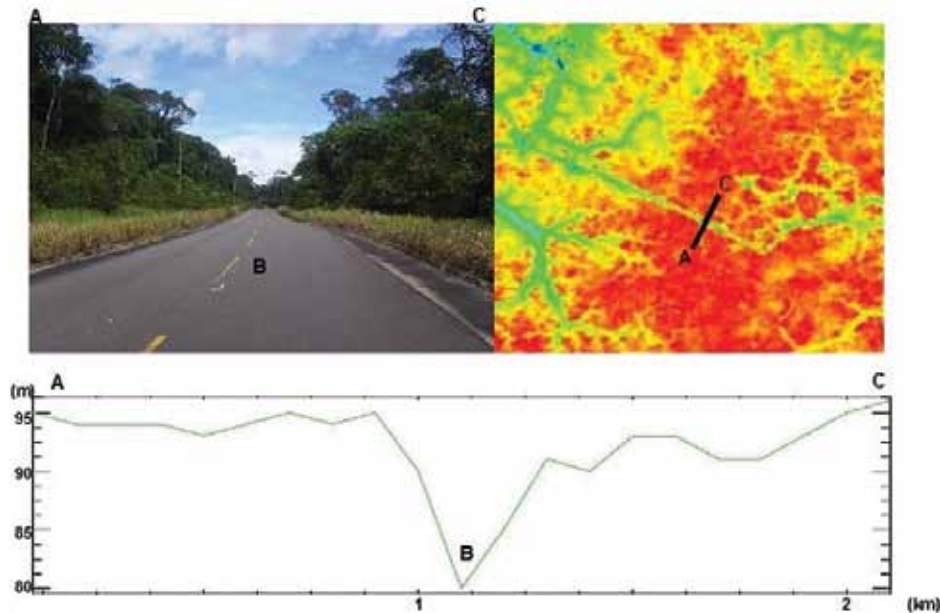
Figura 2: Perfil topográfico obtido da imagem SRTM numa seção transversal, estrada de Porto Urucu, estação da Petrobrás, Amazonas (4°53´S; 65°13´W). Os pontos A e C representam o dossel (árvores de 15 a 20 metros) e o ponto B a estrada, mostrando que o sinal das imagens SRTM não penetra a vegetação.
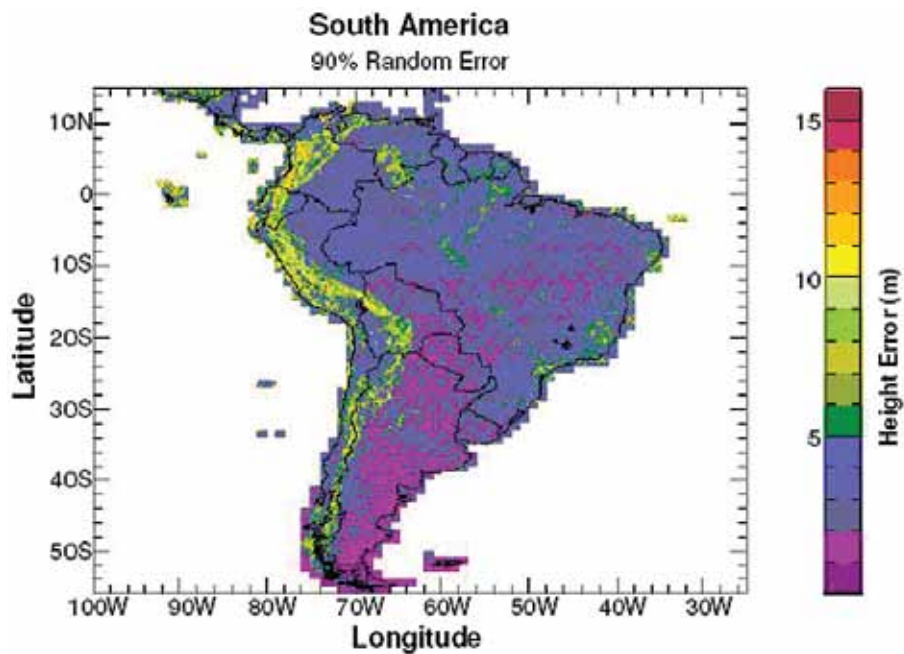
Figura 3: Erro médio vertical para a América do Sul, produtos SRTM. Fonte: Rodríguez et al., 2005.
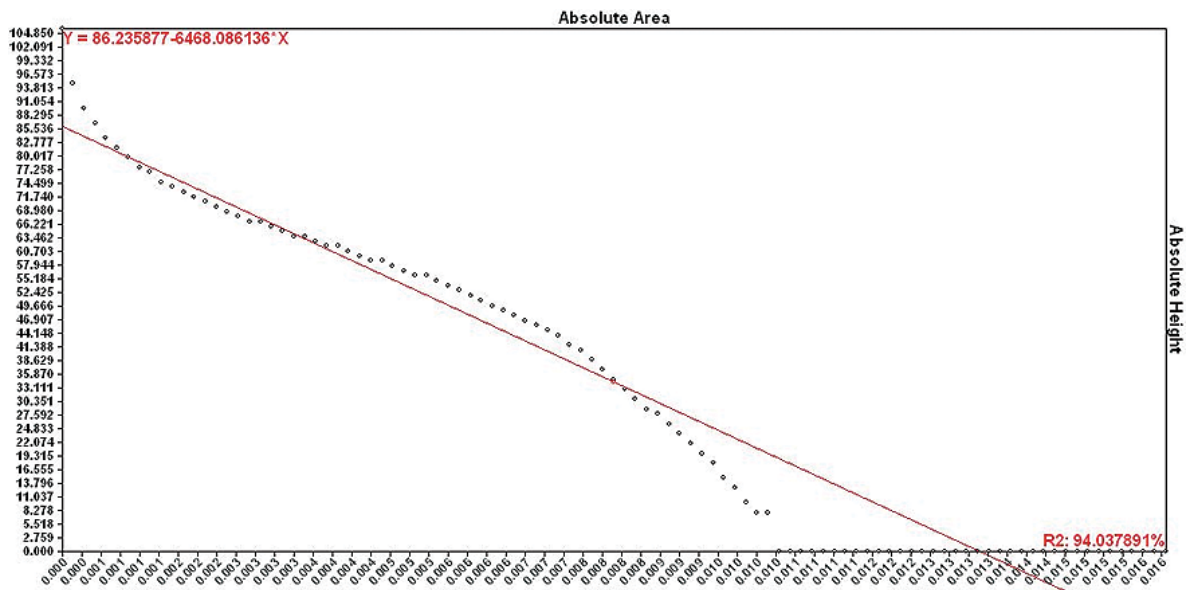
Figura 4: Scatter plotter relacionando altitude versus área absoluta, obtida do MDE SRTM de 90 metros.
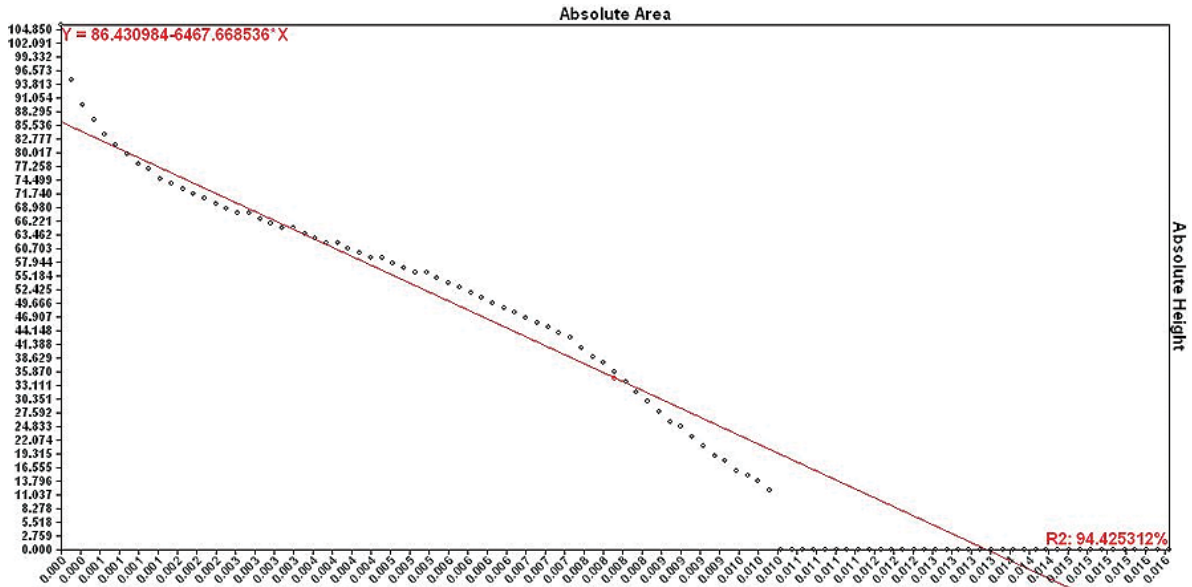
Figura 5: Scatter plotter relacionando altitude versus área absoluta, obtida do MDE SRTM de 30 metros.
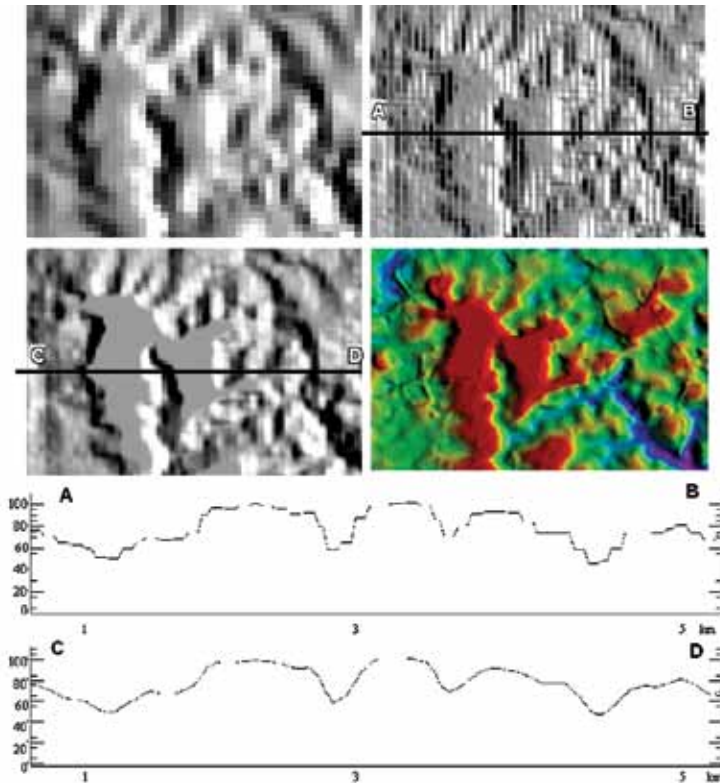
Figura 6: Interpolação por vizinho mais próximo do MDE SRTM de 90 para 30 metros. Imagem 1) SRTM 90m; Imagem 2) SRTM 30m; Imagem 3) SRTM 30m com filtro de passa baixa; Imagem 4) Hill shade (imagem sombreada colorida) realçando as formas de relevo. Os perfis topográficos, A-B; C-D mostram respectivamente, imagem sem o filtro e com o filtro aplicado para melhor identificação das feições topográficas.
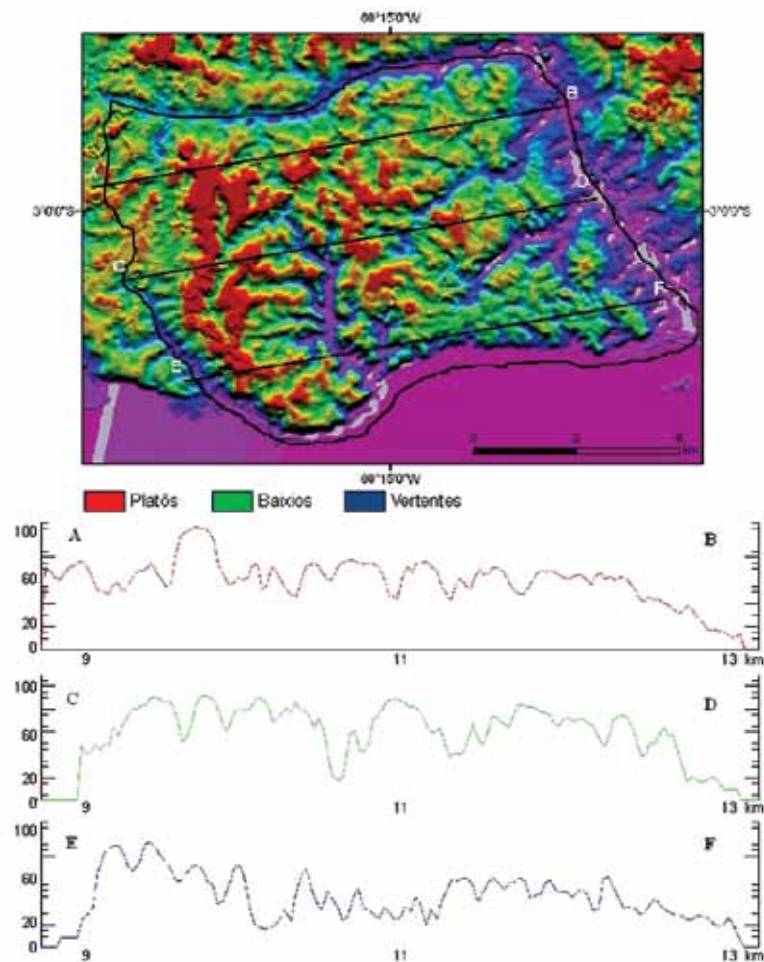
Figura 7: MDE (hill shade - SRTM) base para caracterização das formas de relevo da RDS do Tupé. Na sequência três perfis topográficos A-B (norte); C-D (centro); E-F (sul).

O sistema de drenagem apresenta-se tipicamente, segundo a classificação de Strahler (ordem de canais), com canais de primeira e segunda ordem, mostrando que se trata de um relevo pouco dissecado, e predominantemente com feições erosivas (denudacionais).

Na figura 7 pode-se observar a espacialização das formas denudacionais e agradacionais do relevo. As denudacionais (vermelho e verde) representam os platôs e baixios, com inclinação suave para leste, nos perfis topográficos caimento de A,C,E para B,D,F. Uma forma de melhor visualizar as formas denudacionais, neste caso os platôs, é isolando estes das demais formas de relevo (Fig.8). O produto gerado, mapa dos platôs isolados, é útil para identificar as formas residuais do relevo, auxiliando na reconstrução paleogeográfica da região.

Os perfis topográficos (Fig.8) mostram que os platôs são de uma mesma superfície de aplainamento, pois estão praticamente situados em uma mesma cota altimétrica, divididos pela rede

de drenagem, a qual tem um papel de modelador da superfície, dissecando a superfície mais antiga (platôs) e originando uma nova superfície abaixo (baixios). Este produto também auxilia em estudos ecológicos, como mapa base para identificação de áreas com probabilidade de ocorrências de espécies adaptadas para ambientes de terra firme.
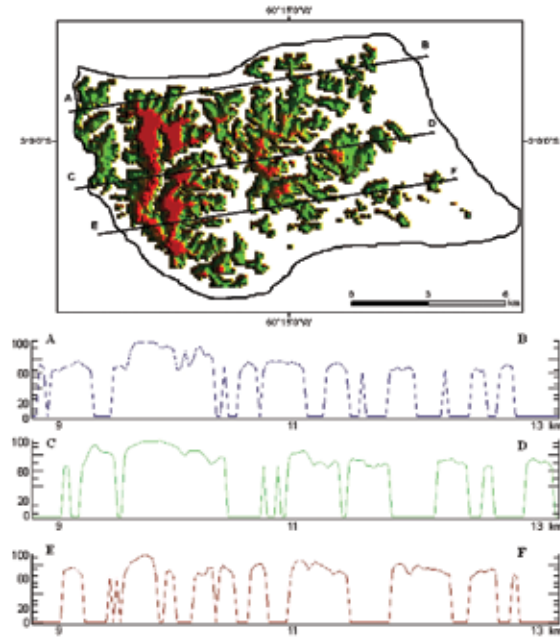
Figura 8: DEM (hill shade – SRTM) dos platôs da RDS do Tupé. Os perfis topográficos A-B; C-D; E-F indicam que os platôs da RDS pertencem a uma única superfície de aplainamento.

Mapeamento de fitofisionomias, como vegetação de terra firme é outra utilidade. Na RDS a área coberta por platôs representa ~ 48 km².

Os canais de primeira ordem na RDS possuem comprimento preferencial entre 300 a 500 metros (Fig.9). A relação entre sinuosidade e ordem dos canais indica que estes não formam meandros bem definidos. Todos os índices estão abaixo de 1.5, índice que determina o limite entre canal sinuoso e canal meandriforme. Os canais de primeira ordem possuam variados índices (abaixo de 1.5); os de segunda ordem possuem duas populações variando de 1.1 e 1.3; canais de terceira ordem possuem sinuosidade de 1.1 e tendência a 1.2 (Fig.10). A figura 11 mostra a relação entre diferença de altitude e ordem de Strahler. Os canais de primeira ordem são bem distribuídos em diferentes níveis altimétricos, com máximo de 60 metros de desnível; os canais de segundo ordem possuem uma menor distribuição,
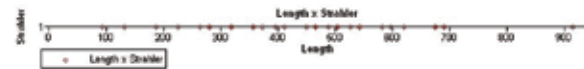
Figura 9: Relação entre comprimento dos canais e ordem de Strahler. Os canais de primeira ordem possuem em média comprimentos entre 300 a 500 metros. RDS do Tupé.
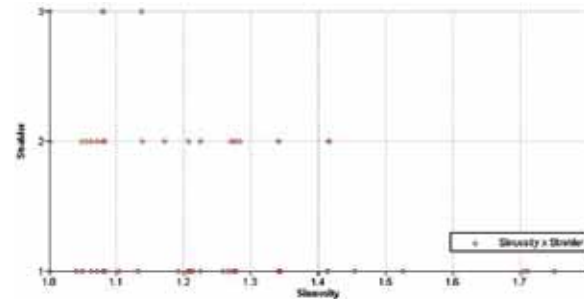
Figura 10: Relação entre índice de sinuosidade e ordem de Strahler. Canais de primeira ordem possuam variados índices; os de segunda ordem possuam duas populações variando de 1.1 e 1.3; canais de terceira ordem possuem sinuosidade de 1.1 e tendência a 1.2. RDS do Tupé.
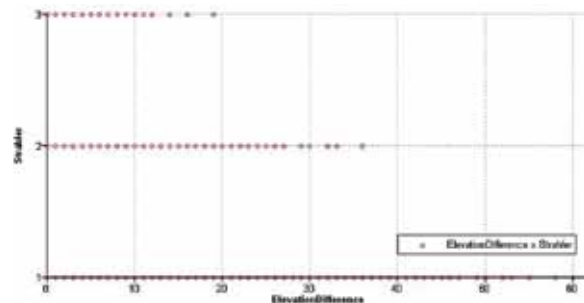
Figura 11: Relação entre a altura dos canais com relação à ordem de Strahler. RDS do Tupé.

com desnível máximo próximo de 30 metros; os canais de terceira ordem são os com menores desníveis, entre 10 e 15 metros (Fig.11).

As classes altimétricas da RDS variam aproximadamente entre 10 a 106 metros, com relevo mais elevado na região oeste, e suave caimento para leste. O caimento suave é referente aos baixios, superfície abaixo dos platôs a qual está sendo dissecada de leste para oeste. A média da altitude
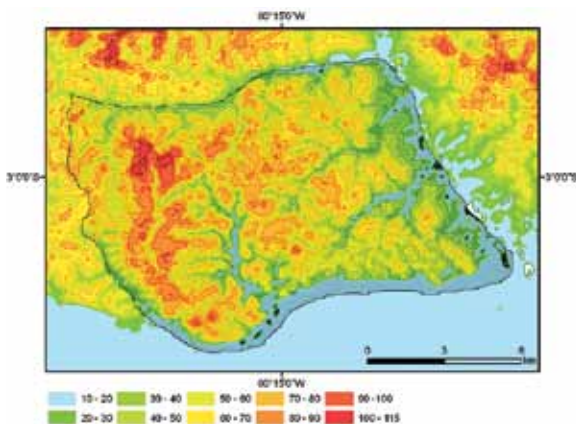
Figura 12: Classes hipsométricas da RDS do Tupé, representando a variação altimétrica em classes de 10 em 10 metros.

do relevo na reserva é 34 metros. O relevo no entorno da reserva apresenta cotas mais elevadas, máximo de 115 metros de altitude (Fig.12).

O mapa de declividade (Fig. 13) representa em graus o gradiente de variação do relevo, ou seja, é o ângulo formado entre a linha do horizonte (plano) e uma tangencial referente a superfície (encosta). A declividade é mais elevada nas encostas dos platôs, no oeste da reserva com 25º, em porcentagem a declividade é de 41%, sendo que a média é de 3º (ou 4.7%).

Pode-se obter valores médios de declividade para cada faixa altimétrica, por exemplo, identificar na cota de 50 metros quais as três classes médias de declividade, ou em quais faixas altimétricas estão maiores médias de declividade (Fig. 14). Na reserva do Tupé as faixas altimétricas entre 30 e 50 metros apresentam as maiores médias de declividade (variam aproximadamente entre 2 a 9º). Este procedimento é importante para alguns estudos em engenharia hidráulica, estudos ecológicos, dentro outros. A equação para transformar declividade em graus para porcentagem é: [Declividade (%) = tan (declividadeº) x 100].
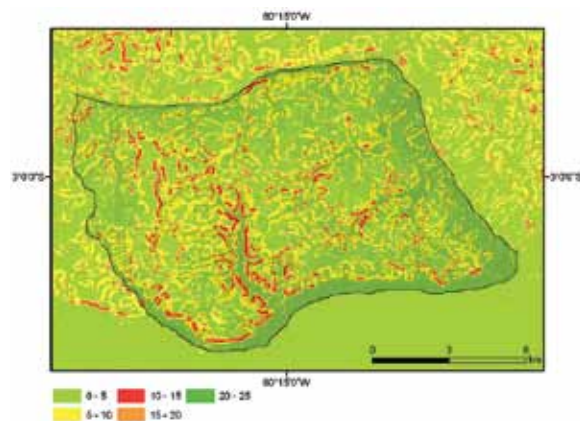
Figura 13: Classes em graus de declividades na RDS do Tupé. Declividade máxima de 25° e média de 3°.
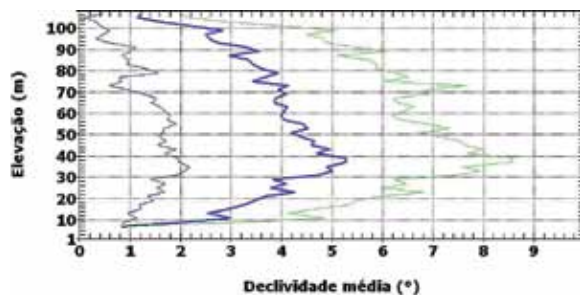
Figura 14: Relação entre elevação e declividade média (graus). Para cada cota altimétrica o gráfico plota três classes de declividade.

O mapa de declividade auxilia em identificar áreas mais suscetíveis a erosão, potencial hidráulico, mapa de solos, dentre outros objetivos em diferentes áreas do conhecimento.

Com base na orientação das encostas, conhecido como mapa de aspecto, é possível identificar áreas que recebem mais, ou menos luminosidade solar,

direção preferencial do escoamento superficial, etc. Na RDS do Tupé as vertentes estão direcionadas preferencialmente para leste, que indica como mencionado anteriormente, o caimento suave do relevo para leste, indicando a direção de evolução das vertentes para oeste (dissecação do relevo).
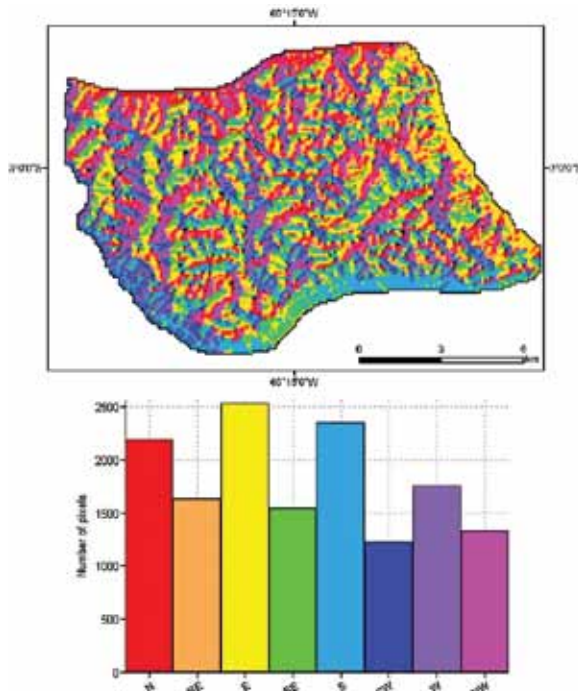
Figura 15: Direções cardeais das encostas na RDS do Tupé (mapa de aspecto).

As encostas mais protegidas, com relação à intensidade solar (maior índice de sombreamento), são as de SW (sudoeste) e NW (noroeste), conforme a figura 15.

Os diagramas de rosa (Queens Aspect Ratio) mostram a relação entre declividade e direção das encostas (Fig. 16). Na reserva do Tupé as encostas voltadas para leste possuem um gradiante mais suave, os declives maiores que 20% estão voltados para norte e oeste. Declividades entre 5 a 10% são as mais representativas em todas as direções da reserva.

Com a relação entre área de contribuição e gradiente topográfico, pode-se atribuir para uma
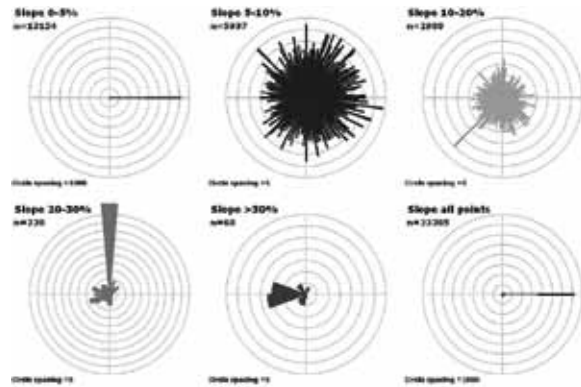
Figura 16: Diagramas de rosa (Queens Aspect Ratio) da RDS do Tupé.

determinada área o índice de umidade topográfica, identificando áreas com maior ou menor potencial a retenção de água, probabilidade de definir áreas com lençol freático raso, ocorrências de anfíbios, áreas alagadas (estudos de fitofisionomias), dentre outros (Fig.17). Na RDS as classes foram, alto potencial de umidade, moderado e baixo, foram sobrepostas no mapa áreas úmidas propriamente ditas (córregos).

O cruzamento de dados do gradiente do relevo, potencial hidráulico, e plano de curvatura, serviu para gerar um mapa do potencial de erodibilidade (Fig.18). Este produto indica áreas suscetíveis à erosão, ocorrendo principalmente em declives acentuado (encostas íngrimes) e com elevado potencial hidráulico. Na RDS o potencial erosivo baixo e moderado são os mais representativos, um fator importante é a cobertura vegetal que serve como fixadora do solo. Este produto auxilia na determinação de áreas prioritárias para conservação da vegetação.

A extração de alguns parâmetros como divisores de água, canais e terrenos mais elevados (platôs), derivados da imagem de curvatura, e do MDE hill shade, servem de base para geração de um mapa de ecótonos, auxiliando na identificação de áreas com probabilidade de ocorrência de certas espécies de répteis e anfíbios; para estudos da distribuição de espécies de vegetação; espécies as quais estão adaptadas para áreas úmidas,
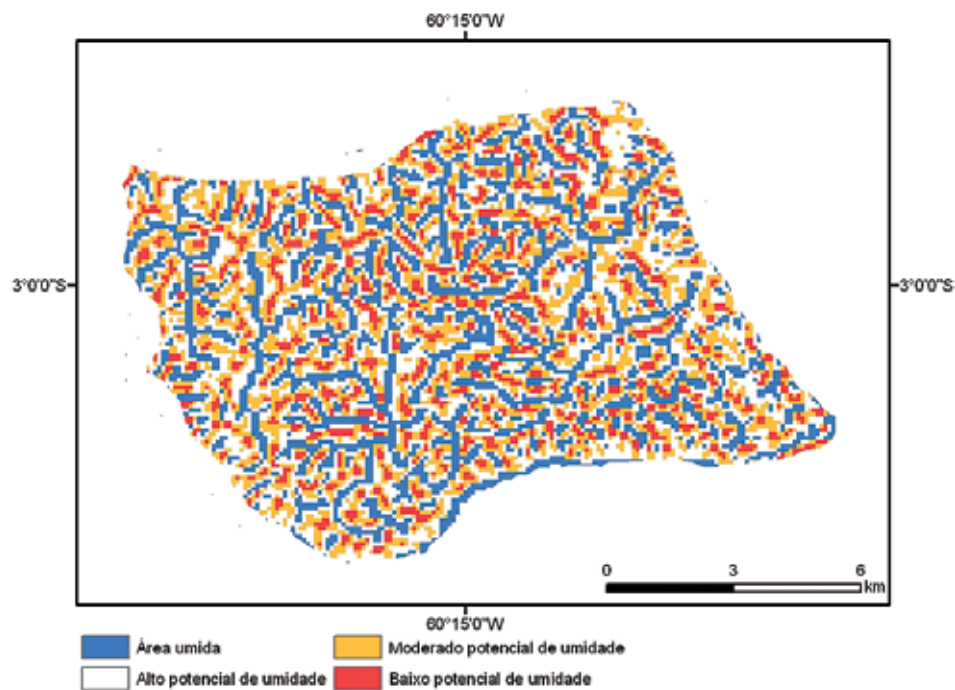
Figura 17: Índice de umidade topográfica, RDS do Tupé.
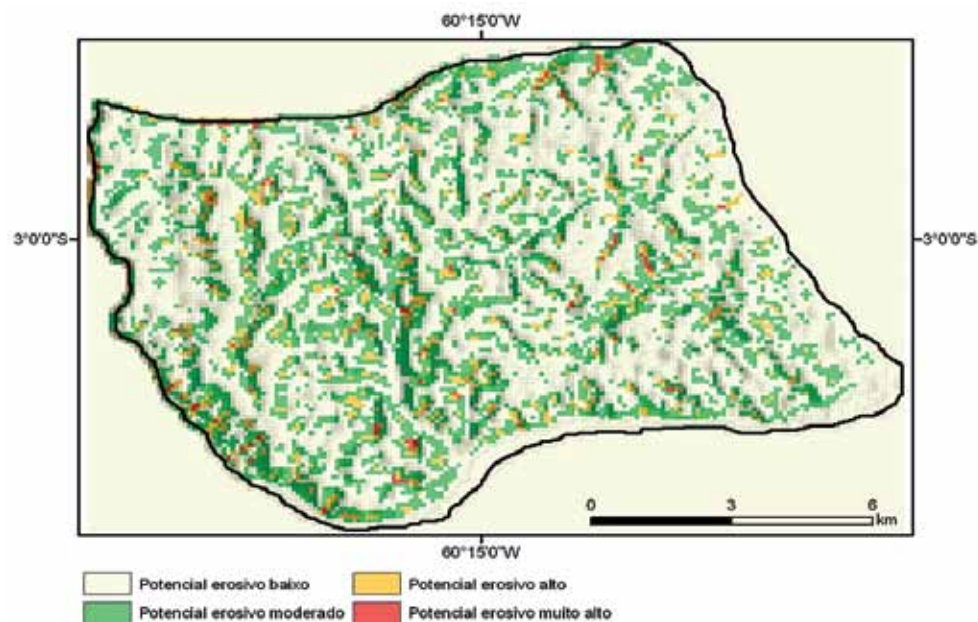
Figura 18: Potencial a erodibilidade na RDS do Tupé.
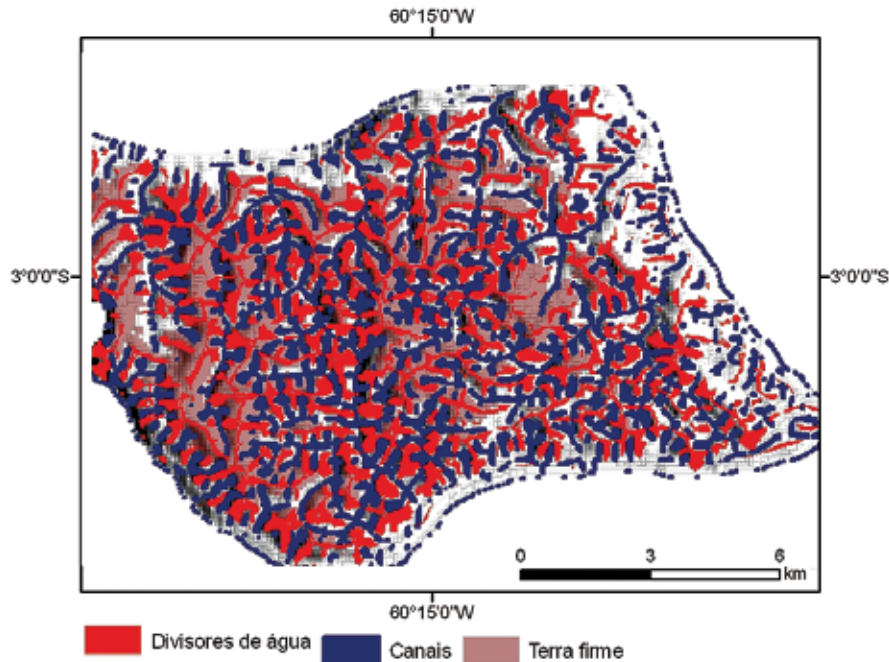
Figura 19: Ecótonos identificados na RDS do Tupé com base no cruzamento dos parâmetros divisores de água (vermelho); Canais (azul) e Terra firme (marrom).

terra firme; ou identificando limites entre bacias hidrográficas para estudos ecológicos. Na RDS do Tupé esta distribuição pode ser identificada de acordo com a figura 19.

Conclusões

Como uma primeira aproximação, os dados aqui apresentados, foram satisfatórios para uma caracterização preliminar da RDS do Tupé. A região apresenta morfologias típicas do relevo da Amazônia, com platôs intercalados por um terreno mais baixo (baixios) dissecado por córregos (igarapés) de primeira e segunda ordem, com vales afogados os quais deságuam na margem esquerda do rio Negro. Estes vales afogados, rias fluviais, são antigos canais que drenavam para o rio Negro, quando este estava em um nível mais baixo que o atual, período de regressão marinha (nível do mar mais baixo), isso fez com que o nível base de erosão fosse diferente do atual, gerando canais mais profundos (em forma de V). Com a transgressão marinha (elevação do nível do mar), provocou um reajuste no nível dos rios, formando vales afogados como o igarapé do Tupé, Tarumã-Mirim, entre outros (Tricart, 1985). Na RDS do Tupé estes vales em forma de V são os mais representativos (canais de primeira e segunda ordem), erodindo os platôs (superfície de aplainamento) e formando uma nova superfície nos baixios.

Uma discussão mais elaborada, com enfoque na dinâmica geomorfológica da região, e uma aproximação entre a geomorfologia e biologia (biogeomorfologia) será feita em um próximo texto. Neste estudo a finalidade foi introduzir a geomorfometria e seu potencial na caracterização básica da RDS do Tupé.

A região amazônica ainda carece de estudos mais aprofundados com relação à descrição da sua paisagem com enfoque quantitativo. Alguns estudos tem sido pioneiros como o

Radambrasil, no entanto, desde a década de 70 (Radambrasil) pouco se têm evoluído nos estudos geomorfológicos da Amazônia. Duas grandes áreas são únicas e importantes para a compreensão da paisagem e modelado do relevo amazônico, são as áreas abertas e a hiléia. As áreas abertas possuem grandes extensões no Estado de Roraima, e a hiléia é bem desenvolvida no Estado do Amazonas e demais Estados da região norte. Compreender os aspectos geomorfológicos, através de uma visão quantitativa, é uma importante chave para a contribuição dos estudos da evolução da paisagem e sua dinâmica na Amazônia.

Com este objetivo novos descritores do terreno vêem auxiliando na extração de dados quantitativos para caracterização do relevo. Um exemplo é o algoritmo HAND (Height Above the Nearest Drainage, Rennó et al., 2008), descritor do terreno com potencial extremamente útil para estudos aplicados à paleo-hidrogeomorfologia. O algoritmo perde a referência do nível de base global (nível do mar) e reajusta (i.e. normaliza) a drenagem com o nível de base local, a diferença de cota passa a ser referenciada ao desnível da drenagem mais próxima. O HAND tem sido, em fase de testes, utilizado para identificar áreas com potencial relação com o nível freático, e identificar unidades do relevo como platôs e vertentes.

Agradecimentos

Ao Dr. Edinaldo Nelson dos Santos Silva do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pelo convite em realizar este estudo com objetivo de elaborar um banco de dados geográfico da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé.

Referencias Bibliográficas

Alves, T.M. & Carvalho, T.M. 2007. Técnicas de Sensoriamento Remoto para classificação e quantificação do sistema lacustre do rio Araguaia entre Barra do Garças e foz do rio Cristalino. Revista Geográfica Acadêmica (1):79-94.

Carvalho, T.M. & Bayer, M. 2008. Utilização dos produtos da "Shuttle Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. Revista Brasileira de Geomorfologia (9):35-41.

Carvalho, T.M. & Latrubesse, E. 2004. O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o casa da bacia hidrográfica do Araguaia. Revista Brasileira de Geomorfologia (5):85-93.

Carvalho, T.M. & Ramírez, R. 2008. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à biogeografia: metodologia geográfica para espacialização de moluscos terrestres. Boletim Goiano de Geografia (28):157-166.

Chorley, R. 1957. Climate and morphometry. Journal of Geology (65):628-638.

Chorley, R. 1966. The application of statistical methods to geomorphology. Pp.275-387. In:Dury, G. (ed.), Essays in Geomorphology. London, Heinemann Ed.

Dikau, R. 1989. The application of a digital relief model to landform analysis. Pp.51-77. In: Raper, J. (ed.). Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems. London, Taylor & Francis Ed.

Farr & Kobrick. 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. American Geophysical Union Eos (81):583-585.

Felgueiras, C. 1997. Análises sobre modelos digitais de terreno em ambientes de sistemas de informação geográfica. In: VIII Simpósio Latino Americano de Percepcíon Remota y Sistemas de Información Espacial. Mérida,Venezuela.

Hengl T. & Evans, I. 2009. Mathematical and Digital Models of the Land Surface. Pp. 31-63. In:Hengl,T & Reuter,H (eds.). Geomorphometry: Concepts, Software and Applications. Amsterdam, Elsevier Ed.

Hesse, R. 2008. Using SRTM to quantify size parameters and spatial distribution of endorheic basins in southern South America. Revista Geografica Academica, 2:5-13.

Horton, R. 1932. Drainage basin characteristics. Transactions American Geophysical Union, 14:350-361.

Horton, R. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical

approach to quantitative morphology. Geol. Soco. America Bulletin, 56(3): 275-370.

Imhof, E. 1982. Cartographic Relief Presentation. . Berlin, Walter de Gruyter Ed. 389p

Latrubesse & Carvalho, T.M. 2006. Geormofologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia, Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. 127p

Lewis, L. 1968. Analysis of surficial landform properties: the regionalization of Indiana into units of morphometric similarity. Proceedings Indiana Academy of Science, 78: 317-328.

Mather, P. 1972. Areal classification in geomorphology. Pp. 305-322. In: Chorley, R. (ed.). Spatial Analysys in Geomorphology. Nova Iorque, Harper & Row Ed.

Miller, L. & Laflamme, R. 1958. The Digital Terrain Model: theory and application. Photogrametric Engineering, 3: 433-442.

Nguyen, H.; Maathuis, B. & Rientjes, T. 2008. Utilization of SRTM data for flood protection based on giuh approach. Revista Geografica Academica, 2: 14-25.

Paradella, W.; SANTOS, A. & Dall'Agnoll, R. 1998. A geological investigation based on airborn (SAREX) and spaceborne (RADARSAT-1) SAR integrad products in the Central Serra dos Carajás Granite Area, Brazil. Canadian Journal of Remote Sensing, 7: 376-392.

Pike, R. 1988. The geometric signature: quantifying landslide terrain types from Digital Elevation Models. Mathematical Geology, 20: 491-511.

Pike,R.; Evans,I. & Hengl,T. 2009. Geomorphometry: A brief Guide. Pp. 3-30. In: Hengl,T & Reuter,H (eds.). Geomorphometry: Concepts, Software and Applications. Amsterdam, Elsevier Ed. quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56: 275-370.

Rennó, C.; Nobre, A.; Cuartas, A.; Soares, J.; Hodnett, M.; Tomasella, J. & Waterloo, M. 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. Remote Sensing of Environment, 112: 3469-3481.

Rice, R. 1993. Fundamentos de Geomorfología. Madrid, Paraninfo Ed. 393p.

Robinson, A. 1982. Early Thematic Mapping in the History of Cartography. Chicago, University of Chicago Ed. 266p.

Rowberry, M. 2008. Constraining the altitudinal range of sub-horizontaldenudation surfaces in Wales, U.K., using the elevation relief ratio. Revista Geografica Academica, 2: 26-40.

Strahler, A. 1952. Hypsometric: analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63: 117-1142.

Summerfield, M. 1991. Global Geomorphology. Singapore, Longman Scientific & Technical Ed. 537p.

Taramelli, A.; Reichenbach, P. & Ardizzone, F. 2008. Comparison of SRTM elevation data with cartographically derived dems in Italy. Revista Geografica Academica, 2: 41-52.

Tricart, J. 1985. Evidence of Upper Pleistocene dry Climate in northern South America, pp. 197-217. In: Douglas, I. & Spencer T (eds.). Environmental change and Tropical Geomosphology. Allen & Unwin, London.

Valeriano, M. & Rossetti, D. 2008.Topographic Modeling of Marajó island with SRTM data. Revista Brasileira de Geormofologia (9):53-64.

Viles, H. 1988. Biogeomorphology. Oxford, Blackwell Ed. 365p.